

Показано, что увеличение  $\mu^*$  в 4 раза, с 50 до 200 кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_2 = 2400$  кг/м<sup>3</sup>) приводит к росту  $p_n$  с 0,713 до 1,27 МПа. В этих же условиях кинематическая вязкость  $\nu$  снижается с  $2,1 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с до  $1,2 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с.

Расчеты показали, что, например, при  $\mu^* = 50$  кг/м<sup>3</sup> увеличение  $\rho_2$  с 1600 до 3200 кг/м<sup>3</sup> приводит к снижению начального давления  $p_n$  с 0,745 до 0,69 МПа. В этом же диапазоне изменения  $\rho_2$  (1600 - 3200 кг/м<sup>3</sup>), но при концентрации  $\mu^* = 200$  кг/м<sup>3</sup> давление  $p_n$  падает более существенно, с 1,84 до 1,06 МПа. Это объясняется зависимостью  $p(\mu^*, \rho_2, \varepsilon_2, \psi)$ , которую легко получить из системы рассмотренных уравнений.

Таким образом, результаты численного решения системы уравнений позволили рассчитать основные характеристики газопорошкового потока в любом контрольном сечении пневмопровода к доменной печи. Наиболее существенно на давление несущего газа перед пылепроводом и распределение параметров по длине влияет концентрация порошка  $\mu$  и его плотность  $\rho_2$ . Модель является универсальной и может быть использована как для расчета низко-, средне- и высокоплотных газодисперсных потоков, подаваемых в доменную печь, так и для моделирования течения чистых газов.

\*\*\*

## **ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПНЕВМОТРАНСПОРТА ПОРОШКА УГЛЯ К ДОМЕННОЙ ПЕЧИ**

Н.В. Косолап, ОАО «ММК им. Ильича»,  
П.С. Харлашин, профессор, д.т.н., ПГТУ

Цель работы – исследовать как форма и размер частиц влияет на силу межфазного взаимодействия, коэффициент аэродинамического сопротивления, и скорость витания при изменении в широком диапазоне концентрации порошка, разности скоростей фаз и коэффициента скольжения.

При выполнении расчётов в качестве исходных принимали, что диаметр частиц  $\delta = 0,1$  мм, давление в пылепроводе  $p = 0,4$  МПа, плотность порошка  $\rho_2 = 2400$  кг/м<sup>3</sup>, разность скоростей фаз  $\Delta w = 10$  м/с, концентрация порошка  $\mu = 100$  кг/кг, коэффициент скольжения фаз  $\psi = 0,9$ ,  $n = 2,5$  – такие параметры, которые, как правило, достигаются перед фурмами доменной печи. Кинематическую вязкость  $\nu$  находили в таблицах для азота при заданном значении  $p$  и  $t$ . Например, в начале транспортного пылепровода при  $t = 25$  °C,  $p = 1,8$

МПа -  $\nu = 0,87 \text{ м}^2/\text{с}$ , а перед фурмами при  $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $p = 0,4 \text{ МПа}$  вязкость составляет  $\nu = 3,97 \text{ м}^2/\text{с}$ .

Установлено, что чем выше концентрация порошка  $\mu$ , тем больше  $C_D$  при любом коэффициенте формы  $f$ . Например, увеличение  $\mu$  с 30 до 90 кг/кг приводит к росту  $C_D$  с 5,0 до 15,1. Однако, чем ближе частица к шару форме ( $f \rightarrow 1$ ), тем влияние  $\mu$  на  $C_D$  менее существенно. Это объясняется тем, что при  $f \rightarrow 1$  коэффициент формы  $K_f \rightarrow 1$ . Если  $K_f = 1$ , коэффициент  $C_D$  вообще не будет зависеть от формы частиц. Показано, что с увеличением концентрации  $\mu$  величина  $\varepsilon_I$  снижается, а  $K_e$  возрастает. По этой причине всегда, чем больше  $\mu$ , тем больше  $C_D$ . Скорость витания  $w_e$ , как и  $C_D$ , есть функция многих переменных:  $w_e(\delta, \rho l, p_l, t_l, \mu, \nu, \Delta w)$ , но при увеличении концентрации  $\mu$  скорость  $w_e$  снижается, причем тем интенсивнее, чем ближе форма частицы к шарообразной. Наиболее существенно на силу  $F_{I2}$  и скорость  $w_e$  влияет форма частиц. При  $\psi = 0,75$  увеличение  $f$  с 1 до 1,6 приводит к росту силы  $F_{I2}$  в 6 раз, с 0,1 до 0,6 МН/м<sup>3</sup>.

Выявлено влияние различных факторов и физических воздействий на  $C_D$ , который в квадратичной области необходим для замыкания решения любых уравнений движения. Показано, что наибольшее физическое воздействие на сопротивление движению дисперсному потоку оказывают (в порядке их важности): концентрация порошка  $\mu$ , разность скоростей фаз  $\Delta w$ , форма частиц  $f$  и их эквивалентный диаметр  $\delta$ .

\*\*\*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ В ВЫСОКОПЛОТНОМ ПОТОКЕ ГАЗОВЗВЕСИ

Н.В. Косолап, ОАО «ММК им. Ильича»

Цель настоящей работы – установить влияние диаметра частиц, давления газовзвеси, разности скоростей фаз, градиента скорости и скорости вращения частицы на поперечные силы в высокоплотном газодисперсном потоке угля, подаваемого в доменную печь.

Установлено, что при любом давлении газа  $p$  существенное влияние на силы Магнуса  $F_M$  и Сафмена  $F_S$  оказывает размер частиц  $\delta$ . Так, увеличение  $\delta$  с 0,1 мкм до 10 мкм при  $p = 1,0 \text{ МПа}$  приводит к возрастанию  $F_M$  более, чем в 30 раз, с  $1 \cdot 10^{-20} \text{ кН}$  до  $30 \cdot 10^{-20} \text{ кН}$ . Характерно, что чем больше  $p$ , тем выше темп прироста  $F_M$  и  $F_S$ . Например, если  $\delta \rightarrow 0$ , то силы  $F_M \rightarrow 0$ ,  $F_S \rightarrow 0$ , что естественно. Заметим, что если бы все частицы были бы размером  $\delta = 1 \text{ мкм}$ , а